

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Ensamble eficiente de Vehículos Aéreos no Tripulados: Implementación de Lean Manufacturing en el proceso de ensamble de drones

Sofía Alejandra Villacís Quevedo

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Industrial

Quito, 3 de Mayo de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Ensamble eficiente de Vehículos Aéreos no Tripulados:
Implementación de Lean Manufacturing en el proceso de
ensamble de drones**

Sofía Alejandra Villacís Quevedo

Nombre del profesor, Título académico Pablo Sebastián Burneo Arteaga, MEM

Quito, 3 de Mayo de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Sofía Alejandra Villacís Quevedo

Código: 00130444

Cédula de identidad: 1725506388

Lugar y fecha: Quito, Mayo de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

El acceso a zonas remotas, tareas de inspección en condiciones extremas y actividades comerciales son algunas de las múltiples aplicaciones de los Vehículos Aéreos no Tripulados (VANTs) (Koldaev, 2007). En la industria de VANTs, una falla en vuelo equivale a una pérdida total, por esto, dos de los principales retos en esta industria son incrementar la productividad manteniendo los estándares de calidad y siendo costo-eficiente. Lean Manufacturing ha ayudado a pequeñas y grandes industrias a superar estos retos mediante el enfoque en la productividad y eliminación de desperdicios. El presente estudio se enfoca en la aplicación de la filosofía Lean Manufacturing bajo la metodología DMAIC en una empresa productora-ensambladora ecuatoriana de Vehículos Aéreos no Tripulados. Se establecieron mediciones iniciales con respecto al porcentaje de cumplimiento de pruebas de calidad, evaluación del takt time y grado de implementación de Lean Manufacturing en la empresa. Herramientas Lean como Poka-Yokes, las 5S y estandarización fueron implementados. Los resultados demostraron una reducción de 5 días en el tiempo de ciclo, reducción en un 11% de los desperdicios generados por movimientos y un 80% de reducción en el tiempo de actividades que no agregaban valor.

Palabras clave: VANT, DMAIC, Lean Manufacturing, Poka-Yoke, Takt time, 5S.

ABSTRACT

Inspection activities during extreme conditions, the access to remote zones and commercial activities are some of the multiple applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) (Koldaev, 2007). In the UAVs industry, a flight issue is equivalent to a total loss, therefore, two of the principal challenges of this industry are productivity increasement maintaining quality standards and the cost-efficient objective. Lean Manufacturing has been known by helping small and big industries to overcome these challenges through focusing on productivity and waste elimination. The present study centers on the implementation of Lean Manufacturing philosophy under the DMAIC methodology into an assembly-producer Ecuadorian UAVs company. Initial metrics were stablished regarding the compliance percentage of quality testing, takt time evaluation and the Lean Manufacturing company's level of implementation. Lean tools, as Poka-Yokes, the 5'S and standardization were implemented. Results showed a five days' time cycle reduction, 11% motion waste reduction and 80% non-value-added time activities elimination.

Key words: UAV, DMAIC, Lean Manufacturing, Poka-Yoke, Takt time, 5S.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	10
2.	Revisión Literaria	12
3.	Metodología	13
3.1	Definir	13
3.2	Medir	14
3.3	Analizar	14
3.4	Mejorar	15
4.	Resultados	15
4.1	Definir	15
4.2	Medir	17
4.3	Analizar	20
4.4	Mejorar	21
5.	Conclusiones	26
6.	Referencias bibliográficas	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de los 5 ¿Por qué?	21
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Extracto del Project Charter realizado en la etapa Definir	16
Figura 2. Diagrama de Movimientos Críticos durante el proceso de producción de un VANT.....	18
Figura 3. Porcentajes de tiempos de valor agregado y no valor agregado del proceso de ensamble del fuselaje del VANT.	19
Figura 4. Porcentajes de tiempos de valor agregado y no valor agregado del proceso de ensamble electrónico del VANT.....	19
Figura 5. Herramienta diseñada para la estandarización de mediciones.....	23

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología ha generado nuevos escenarios para las diferentes industrias. Este ha sido el caso con la introducción de los Vehículos Aéreos no Tripulados. En la actualidad varios estudios demuestran la aplicabilidad y la flexibilidad que los VANT proveen, esto ha provisto la posibilidad de su introducción en las diversas industrias (Maghazei & Netland, 2019). Siendo así factores como la eficiencia durante la recolección de datos y la posibilidad del ahorro en diversos costos (Maghazei & Netland, 2019) algunas de las múltiples ventajas que ofrecen.

En América Latina las industrias los han ido incorporando de forma paulatina. De acuerdo con una investigación realizada por Mordor Intelligence, una firma de consultoría reconocida, durante el año 2021 la introducción de los vehículos aéreos no tripulados en América Latina experimentará una tasa de anual crecimiento del 5% (2020). Brasil lidera esta lista. Ecuador por otro lado todavía se encuentra en una fase de desarrollo en este sector (Sánchez, 2014). Sin embargo, los VANT ya han sido incorporados a varios de los sectores productivos ecuatorianos. Reyes, et al. (2019) estudió el uso de los drones en el sector agrícola del Ecuador. Además, la introducción de los VANT para el monitoreo de la vida salvaje y sus hábitats (Mandujano, et al. 2017), durante actividades periodísticas (Cruz, 2017), en actividades de seguridad fronteriza (Montoya y Briones, 2018) y en estudios topográficos (Pacheco, 2017) son algunas de las múltiples áreas en donde Ecuador ya ha adoptado esta nueva tecnología. En el 2015, la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador emitió regulaciones para la operación de los VANT. Esto confirma la importancia que ha tenido la introducción de esta nueva tecnología en el Ecuador (Dirección General de Aviación Civil del Ecuador, 2015).

El estudio que se presenta a continuación fue realizado en una empresa ecuatoriana productora de Vehículos Aéreos no Tripulados. Esta empresa diseña y produce VANTS. Siendo su principal mercado empresas involucradas con estudios topográficos, en donde la precisión y exactitud en sus operaciones es indispensable. Varias quejas han sido receptadas durante el último año de operaciones, la mayoría de estas enfocadas en la mala calidad de sus equipos. Esta situación no solo ha afectado la imagen de la empresa, además considerando los costos incurridos en garantías cobradas, la empresa se ha visto seriamente afectada. Es de esta forma, que la pregunta de investigación que guió este estudio fue: ¿La empresa ecuatoriana de Vehículos Aéreos no Tripulados tiene la capacidad para cumplir con la demanda, en las condiciones de calidad requeridas, bajo su configuración de operación actual?

En este estudio la filosofía Lean Manufacturing ha sido escogida para responder a la pregunta de investigación. Lean Manufacturing es una filosofía conocida por su énfasis en la calidad, la flexibilidad y la minimización del desperdicio (Womack, et al. 1990). Fue así como, el principal objetivo de este estudio fue la aplicación de la filosofía Lean Manufacturing a través de la metodología DMAIC para entender la situación actual de la empresa y poder establecer mejoras cuantificables.

Los resultados obtenidos durante este estudio han probado las ventajas de la aplicación de esta filosofía. A través de la metodología DMAIC, al inicio métricas fueron establecidas con el fin de entender y comprobar la situación actual de la empresa. Posteriormente la situación actual fue medida y analizada. Finalmente, se logró una reducción del tiempo de ciclo, así como un incremento del 30% en su porcentaje de actividades que agregan valor y además de una reducción en el 10% en el índice de generación de desperdicios en forma de movimiento.

2. REVISIÓN LITERARIA

El uso cada vez más generalizado de los VANTs se encuentra asociado al acelerado avance tecnológico en el campo de la electrónica y control, además de la progresiva reducción de precios de sus componentes (Han, et al. 2013). Sus usos se han diversificado y las aplicaciones que tienen cubren muchas disciplinas desde la topografía hasta la seguridad, usos militares, etc.

Las aplicaciones de los drones incluyen la adquisición de datos, actividades de inspección, transporte y levantamientos topográficos (Maghazei & Netland, 2019). Los VANTs pueden llevar varios dispositivos tales como sensores ultrasónicos, cámaras a color, térmicas e infrarrojas (Máthé & Buşoniu, 2015). Esto hace posible su uso en varias áreas del conocimiento e industrias.

La inspección de puentes (Seo, et al. 2018) y paneles fotovoltaicos (Saavedra, et al. 2018) han demostrado el gran potencial del uso de los VANTs en el ahorro de costos y por los resultados obtenidos (Giacobbe & Biancuzzo, 2018). Dupont, et al. (2017) identificó el potencial uso de drones durante las fases de diseño y construcción en proyectos industriales. Por otra parte, los drones han demostrado su potencial en la adquisición de datos, proyectos de refinerías y la industria agrícola (Giacobbe & Biancuzzo, 2018). Otro sector que ha sido estudiado es el transporte y la logística. Derpich, et al. (2018) desarrolló un modelo matemático que estudia la factibilidad de implementación de drones entre bodegas y estaciones de trabajo en una fábrica de producción de zapatos. El modelo ayudó a reducir los costos y tiempos de despacho. Vlahovic, et al. (2016) estudió el potencial de la implementación de drones en las entregas de medicamentos en industrias farmacéuticas. Un análisis FODA demostró que los bajos costos de envío y mantenimiento asociados a la flexibilidad de su programación de entregas son las principales ventajas que se obtendrían

con la implementación de estos (Vlahovic, et al. 2016). Otras grandes industrias como UPS (2017), Google (Murphy, 2016) y Amazon (CBS News, 2013) se encuentran ya considerando la introducción de drones para sus entregas (Stolaroff, et al. 2018).

Los drones también se han utilizado para logística interna. Su uso para transportar componentes y productos entre departamentos y líneas de ensamble en una industria plástica (Olivares, et al. 2017) ha demostrado que los VANTs pueden superar los típicos sistemas de transporte de bandas transportadoras y carretillas manuales que se encuentran limitados a movimientos bidimensionales. Esto demuestra que la literatura disponible se ha centrado en el estudio de las aplicaciones de los VANTs más no en los procesos de manufactura de los mismos.

3. METODOLOGÍA

Este estudio se centra en la pregunta de investigación que será respondida a través de la aplicación de las herramientas de Lean Manufacturing y sus principios. El método DMAIC se seleccionó considerando que los proyectos de implementación Lean se estructuran principalmente a través de metodologías PDCA y DMAIC (Amrani, et al. 2016). Sokovic et al. (2010) demostró una clara relación entre PDCA y DMAIC ya que DMAIC es una variante del método PDCA. A pesar de que esta metodología empieza con la fase Definir y termina en la fase Controlar, la etapa Controlar no será llevada a cabo debido a restricciones de tiempo.

3.1 Definir

Las herramientas para documentar la información y supervisar procesos de alto nivel son algunas de las que sustentan los propósitos de esta fase (George, 2002). El mapeo de

procesos As-Is se usa en diferentes estudios sobre aplicaciones Lean Manufacturing para entender la descripción del proceso (Prashar, 2014). Para definir el problema se pueden utilizar herramientas como el diagrama de proyectos o también conocido como Project Charter (Ruecker & Radzikowska, 2008) que proporciona los límites del proyecto y establece responsabilidades durante su ejecución (Desai, 2006). El principal objetivo de esta fase es identificar las características principales y puntos clave del proceso, así como el problema principal.

3.2 Medir

En esta fase se pueden utilizar varias herramientas. El Value Stream Mapping (VSM) es una herramienta de Lean Manufacturing que se ha utilizado para identificar las actividades que agregan y no agregan valor en diferentes procesos de compañías aeroespaciales (Thomas, et al. 2016).

Por otra parte, antes de realizar las implementaciones de Lean Manufacturing es necesario desarrollar métricas que servirán de referencia entre el estado actual y un estado futuro. Un indicador cuantitativo puede utilizarse para establecer el nivel Lean de una compañía (Wan & Chen, 2008). El *takt time* también puede ser utilizado considerando que logra acoplar el ritmo de producción con la demanda (Suri, 1998).

3.3 Analizar

Durante esta fase, las herramientas escogidas dependerán del problema y los procesos estudiados (Kumar & Sharma, 2012). La lluvia de ideas, los 5 Por qué y el diagrama de Pareto pueden considerarse durante esta fase (Benbow & Kubiak, 2010). Las herramientas estadísticas tales como histogramas de frecuencia se pueden aplicar para analizar las características del proceso (Akpola, 2004).

3.4 Mejorar

Durante la fase de mejoramiento se deben proveer soluciones creativas, económicas y rápidas (Pyzdek, 2001). Herramientas de Lean Manufacturing como las 5S y el sistema Kanban pueden ser implementados como el soporte de los principios básicos Lean en el diseño de la estación de trabajo (Lešková, 2013). Debido al alcance del estudio no se presenta la etapa controlar, que es considerada la etapa final de la metodología DMAIC (Pyzdek, 2001).

4. RESULTADOS

4.1 Definir

Para empezar con esta fase se realizó un estudio de los procesos As-Is para identificar los principales procesos (Prashar, 2014). Se dividió al VANT en sus diferentes subensambles siendo estos: el subensamble electrónico y el subensamble del fuselaje. Cada uno de estos subensambles es completado por el departamento de producción de forma individual y pasa a una etapa de ensamble final en donde los dos son incorporados. Antes de pasar a ser entregado al cliente los procesos de control de calidad y entrenamiento son llevados a cabo. Durante el control de calidad una serie de calibraciones y pruebas son realizadas. El proceso de entrenamiento consiste en capacitar y evaluar a los nuevos pilotos.

Para empezar, se realizó un Project Charter para establecer los límites del proyecto, las responsabilidades durante la ejecución de este y además la principal problemática de una manera cuantificable (Ruecker & Radzikowska, 2008). Un extracto de este se muestra a continuación.

Figura 1. Extracto del Project Charter realizado en la etapa Definir

Project charter

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	
NOMBRE DEL PROYECTO	Aplicación de Lean Manufacturing en el Proceso de Producción de VANTs
PROCESO(S) IMPACTADO(S)	Proceso de producción VANTs
FECHA DE INICIO ESPERADA	Enero 12, 2020
FECHA DE FINALIZACIÓN PREVISTA	Marzo 30, 2020
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	
PROBLEMA / OPORTUNIDAD	Para el periodo de Marzo a Diciembre del 2019 el 50% de los clientes que han adquirido un VANT han reportado algún tipo de queja. El 60% correspondientes a problemas con la calidad de los equipos. Esto ha provocado costos en la imagen y una reducción en la satisfacción de su base de clientes representando una pérdida de aproximadamente USD1000/VANT.
PROPÓSITO DEL PROYECTO	Aplicar la filosofía Lean Manufacturing para mejorar la calidad de los VANT producidos por la empresa en cuestión además de reducir el tiempo de ciclo actual de 20 días a 10 días hasta el 30 Marzo del 2020. Este proyecto ayudará a aumentar la satisfacción del cliente y reducir los costos de mala calidad por VANT.

Posteriormente, con el fin de entender la Voz del Cliente (Akpolat, 2004) y acoplarla a este estudio, se realizaron diversas entrevistas con el departamento de ventas. A través de estas entrevistas se pudo identificar que la falta de calidad con la que son entregados los VANTs al cliente final es la queja predominante y ha provocado pérdidas de aproximadamente USD 1000 /VANT durante el último año. Además, se ha establecido que las principales causas son VANTs entregados con subensambles incompletos, calibraciones y pruebas de vuelo mal realizadas. Teniendo en cuenta estos datos se establecieron métricas que serán utilizadas durante la fase medir para establecer una cuantificación del problema.

Por otro lado, es importante también conocer la Voz del Negocio. En estudios similares la mayor utilización de recursos, y el acoplamiento de nuevos sistemas de producción en base a las tendencias del mercado y de la competencia son ejemplos comunes de requerimientos de la Voz del Negocio (Akpolat, 2004). Es por esta razón, que, a través de entrevistas con el gerente general de la empresa, se definió que el principal requerimiento del

cliente interno es el enfoque en un mejor sistema de control de calidad que se base en la mejora continua del proceso de producción y la calidad.

De esta manera, el principal requisito del cliente interno fue la división del turno de trabajo actual de 8 horas en dos turnos de 4 horas cada uno. El primero dedicado para actividades de producción, y el segundo al control de calidad y testeo de equipos. Basado en información histórica en la actualidad se entrega un VANT en un tiempo promedio de 15 días desde la emisión de su factura en donde este requerimiento no es considerado.

Tomando en cuenta que Lean Manufacturing es una filosofía conocida por su énfasis en la calidad y la minimización del desperdicio (Womack, et al. 1990) se decidió aplicar esta filosofía considerando que los principales problemas implican una falta de calidad y la minimización del desperdicio como objetivo para disminuir el tiempo de ciclo actual.

4.2 Medir

Para empezar con la fase medir la primera métrica establecida tuvo en cuenta el número de piezas faltantes por subensamble. Teniendo en cuenta que el VANT cuenta con dos subensambles definidos se logró medir que aproximadamente de las 50 piezas con las que cuenta cada uno tan solo 40 eran ubicadas en promedio en cada ensamble.

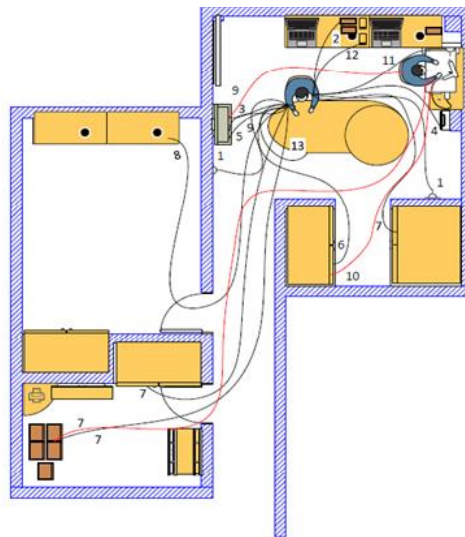
Por otro lado, también se logró cuantificar el porcentaje de cumplimiento que se utiliza para las pruebas de calidad. Las medidas fueron establecidas en base al número de calibraciones y pruebas de calidad requeridas y las alcanzadas por cada VANT producido. Similares resultados fueron alcanzados y es que de las 36 pruebas requeridas tan solo 20 son realizadas lo que representa que tan solo se realiza un 56% de lo establecido.

Tomando en cuenta que tanto el estado estructural como el estudio del valor agregado son dos de parámetros que componen la filosofía Lean Manufacturing (Amrani, et al. 2016), se realizó una evaluación de los mismos. El primer parámetro evaluado fue el nivel

estructural y el segundo fue el análisis de las actividades que agregaban y no agregaban valor. Estos indicadores se utilizarán para evaluar tanto el estado actual como el posterior, con respecto a la implementación de la filosofía Lean Manufacturing.

Para iniciar, se estableció un indicador cuantificable con respecto al nivel estructural de la empresa. Para evaluar este indicador se realizó un diagrama de movimientos críticos con el objetivo de identificar problemas con el layout, la organización del mismo y los desperdicios generados en forma de movimientos (Senderska, et al. 2017). Este se presenta a continuación en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama de Movimientos Críticos durante el proceso de producción de un VANT.



A través del análisis de los distintos movimientos y su duración, este evidenció un total del 41% de desperdicio. Esto significa que existe un 41% de desperdicio generado en forma de movimiento.

Por otro lado, para evaluar el segundo indicador se analizó el nivel organizacional de la empresa en donde se determinó el tiempo de las actividades que agregaban valor con

respecto al tiempo de ciclo actual. Los dos procesos de subensamble fueron evaluados. Se obtuvo así que durante el proceso de ensamble del fuselaje tan solo el 16% del tiempo de ciclo actual corresponde a tiempo que no agrega valor dentro del proceso de producción del VANT. Sin embargo, en el ensamble electrónico los resultados fueron completamente distintos y es que dentro del mismo tan solo 20% corresponde a tiempo de valor agregado. Los resultados se muestran en las Figura 3 y 4 respectivamente.

Figura 3. Porcentajes de tiempos de valor agregado y no valor agregado del proceso de ensamble del fuselaje del VANT.

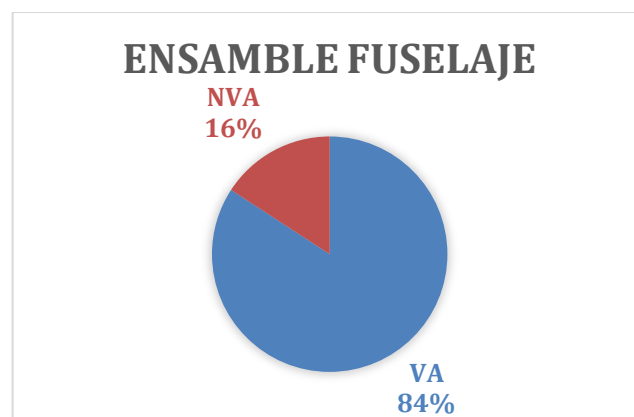
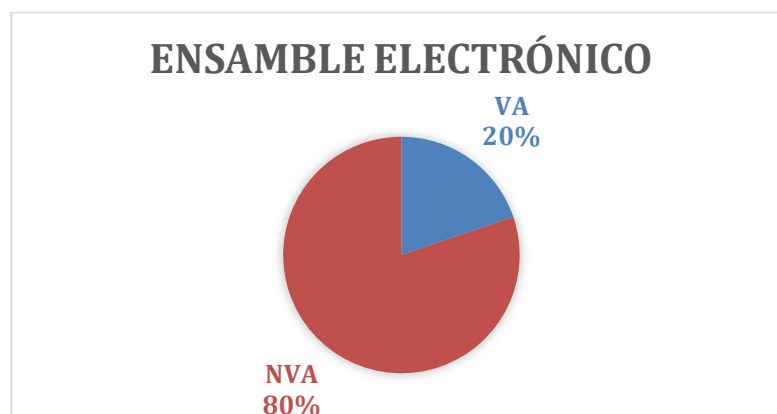


Figura 4. Porcentajes de tiempos de valor agregado y no valor agregado del proceso de ensamble electrónico del VANT.



Finalmente, se realizó un estudio del *takt time*, teniendo en cuenta que este logra sincronizar el ritmo de producción con la demanda (Monden,2012) y se lo comparó con el tiempo de ciclo actual de 15 días. Para este cálculo se tuvo en cuenta la demanda de drones que recibe la empresa al mes, las horas que se trabaja al mes y finalmente el resultado se dividió para 4 teniendo en cuenta que un día se compone tan solo por un turno de 4 horas dedicado a la producción (el otro turno se dedicará al control de calidad), como parte del requerimiento de la gerencia.

$$Takt\ time = \frac{160 \frac{horas}{mes}}{3 \frac{drones}{mes}} = 53 \frac{horas}{mes}$$

$$\frac{53 \frac{horas}{mes}}{4 \frac{horas}{dia}} = 13\ días$$

El resultado obtenido indicó que el tiempo de producción actual demuestra un proceso ineficiente al ser mayor que el *takt time*, que es el ritmo con el cual debería producir el departamento de producción.

4.3 Analizar

Para empezar con la fase analizar se realizó una evaluación de las diversas quejas. A través de la información obtenida del departamento de ventas se determinó que en la actualidad la queja predominante era la referente a los problemas de calidad.

A través de sesiones de lluvia de ideas con el departamento de producción (Jadhav &Jadhav, 2013) se pudieron determinar las principales causas de este problema a través de los 5 Por qué.

Tabla 1. Análisis de los 5 ¿Por qué?

Problema	5 ¿Por qué?				
	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
60% de los clientes han reportado una queja	Porque existen problemas de calidad en los VANT.	Porque existen piezas mal colocadas, piezas faltantes, alambres mal cortados y problemas estéticos.	Por falta de herramientas adecuadas y estandarización en los procesos.	Porque existe desorganización en el lugar de trabajo.	Porque no existen políticas ni procedimientos claros.

Una vez analizadas las causas al problema principal se inició con la fase mejorar en donde los por qué fueron utilizados para la implementación de las diversas mejoras.

4.4 Mejorar

Para empezar con la etapa de Mejora se implementaron la 5S, sistemas de estandarización de procesos, documentos de control de calidad y finalmente se realizó un análisis de maquila. El análisis de maquila se lo realizó con el fin de analizar el costo de maquilar el proceso de ensamble de la parte electrónica, subensamble en donde se determinó la mayor cantidad de actividades que no agregan valor durante la fase medir.

Durante la implementación de las 5S se seleccionaron y ubicaron tanto las herramientas como los diferentes componentes de los subensambles cerca de los operarios (Monden, 2012). Para comenzar se realizó una auditoría utilizando un cuestionario de 50 preguntas en base al modelo de Ho (1999) para evaluar el cumplimiento de cada actividad 5S. En este se determinó que el porcentaje más alto de cumplimiento se obtuvo en la actividad Organizar con un 40%. A continuación, se procuró dar mayor orden al área de ensamble. Se determinó en base a un análisis detallado, las herramientas y componentes de uso más

recurrente, aquellos componentes que debían estar a disposición y se los dispuso en este orden de prioridades. Se reorganizó completamente la bodega y se identificó y clasificó los consumibles, elementos de unión y otros de uso continuo.

Posteriormente se implementaron políticas sobre el uso de documentos de control de calidad en donde parámetros establecidos sobre las calibraciones y las pruebas de vuelo fueron establecidos además de la lista de materiales de cada subensamble. Esta herramienta fue utilizada ya que, a través de la misma, empresas que utilizan la filosofía Lean Manufacturing en sus operaciones han reducido el riesgo de cometer errores y han mejorado sus actividades de recolección de datos (Charron, et al. 2014).

Los resultados alcanzados luego de la implementación de esta herramienta fue un 100% tanto en las pruebas de vuelo como en las calibraciones realizadas por VANT. Por otro lado, tomando en cuenta la métrica sobre el porcentaje de componentes completos en el fuselaje y el subensamble electrónico, también se logró llegar al 100% requerido.

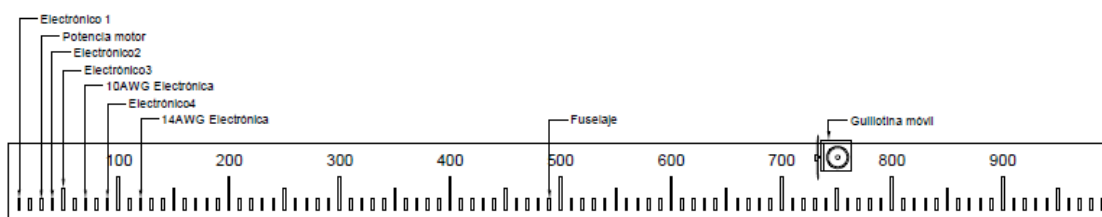
Adicionalmente se identificaron tareas y movimientos que no aportaban valor al ciclo productivo por su falta de estandarización y se los redujo mediante la implementación de dispositivos y herramientas complementarios que tenían por objeto: reducir los tiempos de búsqueda de herramientas y materiales, acelerar los tiempos de procesamiento de consumibles y mejorar las técnicas de manipulación de componentes.

De esta forma, se estandarizaron las mediciones de cortes de los diferentes cables y subcomponentes de los subensambles. Se utilizó la estandarización de mediciones ya que según un estudio realizado por Matt & Rauch en el 2013, la estandarización es uno de los métodos de Lean Manufacturing más utilizados durante de la implementación de esta filosofía en empresas pequeñas, siendo este el caso de la empresa en cuestión.

Se realizó entonces un diseño de un nuevo sistema de medición, en el cual las mediciones de los distintos cables y subcomponentes se encuentran señalizadas. Este sistema

además representó un Poka-Yoke de advertencia. El Poka-Yoke es un método de control de defectos, introducido Shigeo Shingo en 1961. En este estudio fue utilizado para prevenir la ocurrencia de errores durante las actividades de corte de cables y otros subcomponentes a través de un control correcto de mediciones (Dudek-Burlikowska & Szewieczek, 2009). El sistema de medición implementado se muestra a continuación:

Figura 5. Herramienta diseñada para la estandarización de mediciones



A través de este nuevo sistema se logró disminuir los desperdicios en forma de movimiento, teniendo en cuenta que una de las principales actividades en donde se generaban estos desperdicios eran en las actividades de medición de componentes. Se recalculó el porcentaje de desperdicio en forma de movimiento y se obtuvo que este pasó del 41% al 30% con la ayuda de esta nueva herramienta. Además, a través de este sistema se logró disminuir los errores durante la producción del UAV.

En base a un estudio piloto el *takt time* pudo ser alcanzado ya que se obtuvo un tiempo de ciclo de 10 días luego de la implementación de las 5S, y la herramienta de estandarización de medidas.

Complementariamente, se realizó un estudio piloto de costos con el fin de analizar la factibilidad de maquilar el subproceso de ensamble electrónico. Los estudios de *outsourcing* son muy utilizados en proyectos de implementación de Lean Manufacturing. Mohammed, et al. en su estudio realizado en el 2008 sobre cadenas de suministro y la introducción de la

filosofía Lean Manufacturing describió al *outsourcing* como la clave para la obtención de una mayor flexibilidad, agilidad y mejoramiento en el nivel Lean de una empresa.

Este análisis se lo realizó teniendo en cuenta que durante la fase medir se estableció que este proceso contiene el mayor porcentaje de valor no agregado del tiempo de ciclo. Este análisis compara el actual costo de ensamble realizado en taller con los costos que se podría incurrir al realizarlo con un maquilador que cuenta con técnicos especializados en este tipo de trabajos.

El estudio se lo realizó en base a un mes de trabajo con los tiempos mejorados luego de la implementación de las técnicas descritas y con la demanda prevista. El valor de los consumibles no se los ha considerado por ser ínfimo comparativamente.

Costo de ensamble en taller

$$= \text{Tiempo empleado} \left(\frac{\text{horas}}{\text{unidad}} \right) * \text{Valor unitario} \left(\frac{\text{USD}}{\text{hora}} \right) \\ * \text{Unidades procesadas} \left(\frac{\text{unidades}}{\text{mes}} \right)$$

$$\text{Costo de ensamble en taller} = 15 \frac{\text{horas}}{\text{unidad}} * 5 \frac{\text{USD}}{\text{hora}} * 3 \frac{\text{unidades}}{\text{mes}} = 225 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

Costo de ensamble maquila

$$= \left(\text{Costo de maquilar} \left(\frac{\text{USD}}{\text{unidad}} \right) + \text{Costo de transporte} \left(\frac{\text{USD}}{\text{unidad}} \right) \right) \\ * \text{Unidades procesadas} \left(\frac{\text{unidad}}{\text{mes}} \right)$$

$$\text{Costo de ensamble maquila} = \left(30 \left(\frac{\text{USD}}{\text{unidad}} \right) + 8 \left(\frac{\text{USD}}{\text{unidad}} \right) \right) * 3 \left(\frac{\text{unidad}}{\text{mes}} \right) = 114$$

Considerando la demanda actual se puede observar que existe una diferencia de aproximadamente USD 100/unidad producida lo que hace factible la consideración de esta

opción. Sin embargo, Aamer (2018) durante un estudio sobre la implementación del sistema de Lean Thinking para el manejo de proveedores anunció que los dos principales problemas de la maquila son los riesgos de retraso y falta de control durante el proceso al hacerlo de forma externa. Esto debería ser analizado en un posterior estudio.

Finalmente, si se tiene en cuenta la implementación de la maquila para el proceso del subensamble electrónico se podría disminuir en un 80% el tiempo de actividades que no agregan valor durante el proceso de producción del VANT, teniendo en cuenta que este es el principal proceso en donde se encuentra el mayor índice de no valor agregado.

5. CONCLUSIONES

En conclusión, el estudio presentado ha demostrado un caso de estudio práctico en donde la filosofía Lean Manufacturing ha sido implementada a través de sus diversas herramientas. El objetivo principal de este estudio fue cubierto a través de la implementación de la filosofía Lean Manufacturing considerando las diferentes etapas de la metodología DMAIC. Además, herramientas como las 5S, documentos de control de calidad y herramientas de estandarización de mediciones fueron aplicadas, lo que logró mejorar de forma cuantificable la situación de la empresa.

Por otro lado, con respecto a la pregunta de investigación ¿La empresa ecuatoriana de Vehículos Aéreos no Tripulados tiene la capacidad para cumplir con la demanda, en las condiciones de calidad requeridas, bajo su configuración de operación actual? De acuerdo con los análisis realizados durante la etapa Medir y la información obtenida durante la etapa Definir se logró determinar la incapacidad de la empresa para cumplir con los requerimientos de su actual base de clientes. Factores como la incapacidad de completar al 100% las pruebas de calidad, y producir en un tiempo mayor al *takt time* establecido demostraban su incapacidad.

La mejora en el tiempo de ciclo fue alcanzada gracias a la implementación de las 5S y el nuevo sistema de estandarización de mediciones. Además, gracias a la nueva documentación de apoyo para el proceso de control de calidad, el porcentaje en el cumplimiento de calibraciones y pruebas de vuelo llegó a ser del 100%.

Además, después de la prueba piloto inicial se obtuvo una disminución en el porcentaje de desperdicio en forma de movimiento del 41% al 30% además de una disminución en el tiempo de ciclo de 5 días. Factor que logró acoplar el tiempo de ciclo con el *takt time* establecido durante la etapa medir.

El análisis de la maquila del proceso de ensamble electrónico, principal proceso en donde el tiempo de actividades que no agregan valor fue establecido, demostró ser una opción que podría ser considerada al eliminar con esto el 80% de tiempo de no valor agregado obtenido tan solo durante este proceso. Sin embargo, factores como la falta de control y riesgo de retraso deben ser considerados en el caso de su posible implementación.

Finalmente, varias limitaciones fueron encontradas durante la ejecución de este proyecto. Durante la fase definir, la falta de información registrada expandió el tiempo al principio previsto, para esta fase, lo que pospuso el inicio de la etapa de medición. Posteriormente, durante la implementación de las 5S en su fase inicial, durante la actividad de Clasificar, deshacerse de los diferentes instrumentos como componentes dañados u obsoletos fue una tarea difícil. Sin embargo, el comprometimiento tanto de la gerencia como del departamento de producción de la empresa no solo lograron que esta filosofía fuera implementada, también ha considerado la implementación de herramientas de control y mejoramiento continuo que logren hacer de estas nuevas mejoras nuevos hábitos de trabajo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aamer, A. M. (2018). Outsourcing in non-developed supplier markets: a lean thinking approach. *International Journal of Production Research*, 56(18), 6048-6065, doi: 10.1080/00207543.2018.1465609
- Akpolat, H. (2004). *Six sigma in transactional and service environments*. Gower Publishing, Ltd.
- Amrani, A., Ducq, Y., & Goetz, C. (2016) *Analyzing the Lean Manufacturing Challenges to Sustain Flexible Aeronautic Industry*. 6th International Conference on Information, Systems, Logistics and Supply Chain, Bordeaux, France.
- Benbow, D. & Kubiak, T. (2010). *The Certified Six Sigma Black Belt, Handbook*. Pearson Education.
- CBS News. (2013). Amazon unveils futuristic plan: delivery by drone. 60 Minutes Overtime. <https://www.cbsnews.com/news/amazon-unveils-futuristic-plan-delivery-by-drone/>
- Cruz, J. (2017). Elementos de la noticiabilidad a partir del uso periodístico de drones en la cobertura del terremoto en ecuador de 2016. *Revista PUCE*, 104, 83-107.
- Derpich, I., Miranda, D., & Sepulveda, J. (2018, 8-12 May). *Using drones in a warehouse with minimum energy consumption*. 7th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC), IEEE, doi: 10.1109/ICCCC.2018.8390444
- Desai, D. (2006). Improving customer delivery commitments the Six Sigma way: case study of an Indian small scale industry. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 2(1), 23-47.
- Dirección General de Aviación Civil del Ecuador. (2015). *Sistema de Control Operacional*. <https://www.aviacioncivil.gob.ec/>
- Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 36(1), 95-102.
- Dupont, Q., Chua, D., Tashrif, A., & Abbott, E. (2017). Potential applications of UAV along the construction's value chain. *Procedia Engineering*, 182(3), 165-173

- Giacobbe, F., & Biancuzzo, E. (2018). Inspection of Components with the Support of the Drones. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(12), 1784-1787
- George, M. (2002). *Lean Six Sigma, Chapter 10-Implementation: The DMAIC Improvement Process*. McGraw Hill Professional.
- Han, J., Xu, Y., Di, L., & Chen, Y. (2013). Low-cost multi-UAV technologies for contour mapping of nuclear radiation field. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 70(1-4), 401-410, doi: 10.1007/s10846-012-9722-5
- Ho, S. (1999). The 5S auditing. *Managerial Auditing Journal*, 14(6), 294-302, doi: 10.1108/02686909910280244
- Hung-da Wan & Chen, F. (2008). A leanness measure of Manufacturing systems for quantifying impacts of lean initiatives. *International Journal of Production Research*, 46(23), 6567-6584, doi: 10.1080/00207540802230058
- Jadhav, B., & Jadhav, S. (2013). Investigation and analysis of cold shut casting defect and defect reduction by using 7 quality control tools. *International Journal Adv. Eng. Res. Stud*, 2, 28-30.
- Koldaev, A. V. (2007). Non-military UAV applications. *Aero India International Seminar-2007 Edition*. Bangalore.
- Kumar, A., & Sharma, N. (2012). Six Sigma DMAIC methodology: a powerful tool for improving business operations. *Advanced Materials Research*, 488, 1147-1150, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.488-489.1147
- Lešková, A. (2013). Principles of lean production to designing manual assembly workstations. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*, 11(2).
- Maghazei, O., & Netland, T. (2019). Drones in Manufacturing: exploring opportunities for research and practice. *Journal of Manufacturing Technology Management*, doi: 10.1108/JMTM-03-2019-0099
- Mandujano, S., Pazmany, M., & Rísquez-Valdepeña, A. (2017). Drones: una nueva tecnología para el estudio y monitoreo de fauna y hábitats. *Agroproductividad*. 10(10), 79-84.

- Máthé, K., & Buşoniu, L. (2015) Vision and Control for UAVs: A Survey of General Methods and of Inexpensive Platforms for Infrastructure Inspection. *Sensors*, 15(7), 14887-14916, doi: 10.3390/s150714887
- Matt, D., & Rauch, E. (2013). Implementation of lean production in small sized enterprises. *Procedia CIRP*, 12, 420-425, doi: 10.1016/j.procir.2013.09.072
- Mohammed, I., Shankar, R. and Banwet, D. (2008). Creating flex-lean-agile value chain by outsourcing: An ISM-based interventional roadmap", *Business Process Management Journal*, 14(3), 338-389, doi: 10.1108/14637150810876670
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System*. (4th ed.). CRC Press.
- Montoya, P., & Briones, R. (2018). Empleo de los UAV, en operaciones de seguridad y vigilancia en las áreas estratégicas en el ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 4(4), 86-100.
- Mordor Intelligence. (2020). *Latin america small uav market - growth, trends, and forecast (2020 - 2025)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/latin-america-small-uav-market-industry>
- Murphy, M. (2016) *This is how Google wants its drones to deliver stuff to you*. Quartz. <https://qz.com/670670/this-is-how-google-wants-its-drones-to-deliver-stuff-to-you/>
- Olivares, V., Córdova, F., & Durán, C. (2017, 18-20 Oct.). *Transport logistics and simulation model for fleet of drones in a mass customization system*. 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), doi: 10.1109/CHILECON.2017.8229521
- Pacheco, D. (2017). Drones en espacios urbanos: Caso de estudio en parques, jardines y patrimonio edificado de Cuenca. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 6(11), 218-233, doi: 10.18537/est.v006.n011.a12
- Pyzdek T. (2001). *The Six Sigma Handbook*. McGraw – Hill.
- Prashar, A. (2014). Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality. *International Journal of Productivity and Performance Management*. 63(1), 103-126, doi: 10.1108/IJPPM-01-2013-0018
- Reyes, J., Godoy, A., & Realpe, M. (2019, Jul.24-26). *Uso de software de código abierto para fusión de imágenes agrícolas multiespectrales adquiridas con drones*

[Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities]. 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, Jamaica.

Ruecker, S., & Radzikowska, M. (2008, February). *The iterative design of a project charter for interdisciplinary research*. Proceedings of the 7th ACM conference on Designing interactive systems, doi:10.1145/1394445.1394476

Saavedra S., Callejo L. & Perez O. (2018). Technological review of the instrumentation used in aerial thermographic inspection of photovoltaic plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 566-579, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.027

Sánchez, W. (2014). COHA Report: Drones in Latin America. *Hermes*, 900, 4.

Senderska, K., Mareš, A., & Václav, S. (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. *UPB Scientific Bulletin, Series D*, 79(1), 139-150.

Seo J., Duque L., & Wacker J. (2018). Drone-enabled bridge inspection methodology and application. *Automation in Construction*, 94, 112-126, doi: 10.1016/j.autcon.2018.06.006

Sokovic, M., Pavletic, D., & Pipan, K. (2010). Quality improvement methodologies—PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of achievements in materials and Manufacturing engineering*, 43(1), 476-483.

Stolaroff, J. K., Samaras, C., O'Neill, E. R., Lubers, A., Mitchell, A. S., & Ceperley, D. (2018). Energy use and life cycle greenhouse gas emissions of drones for commercial package delivery. *Nat Commun*, 9(409), 1-13, doi : 10.1038/s41467-017-02411-5

Suri, R. (1998). *Quick response Manufacturing: a companywide approach to reducing lead times*. CRC Press.

Thomas, A., Francis, M., Fisher, R., & Byard, P. (2016). Implementing Lean Six Sigma to overcome the production challenges in an aerospace company. *Production Planning & Control*, 27(7-8), 591-603, doi: 10.1080/09537287.2016.1165300

UPS. (2017) *UPS tests residential delivery via drone launched from atop package car*. United Parcel Service.
<https://pressroom.ups.com/pressroom/ContentDetailsViewer.page?ConceptType=PressReleases&id=1487687844847-162>

- Vlahovic, N., Knezevic, B., & Batalic, P. (2016). Implementing delivery drones in logistics business process: Case of pharmaceutical industry. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 10(12), 3981-3986.
- Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. Rawson.